

FUNKTIONELLES GREIFEN MIT OBERFLÄCHEN-ELEKTROSTIMULATION IM KLINISCHEN EINSATZ

T. Keller¹, M. R. Popovic², C. Link¹, A. Curt¹, M. Morari² und V. Dietz¹

¹ ParaCare, Schweizerisches Behandlungs- und Forschungszentrum für Paraplegie, Universitätsklinik Balgrist, Zürich, Schweiz

² Institut für Automatik, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Schweiz

E-mail: keller@aut.ee.ethz.ch

EINLEITUNG

Seit der Presentation der ersten Greifhilfe auf der Basis von funktioneller Elektrostimulation (FES) mittels Oberflächen Elektroden durch Long [1] sind mehr als drei Jahrzehnte vergangen, ohne dass sich ein System im klinischen Gebrauch richtig etablieren konnte. Dies hat vor allem damit zu tun, dass die Anforderungen an eine Greifhilfe bezüglich der individuellen Anpassbarkeit sehr gross sind. Erst in den letzten Jahren hat die Miniaturisierung in der Mikrotechnik die Möglichkeit geschaffen portable, individuell anpassbare Greifhilfen zu entwickeln.

Produkte wie der 'Bionic Glove' [2] oder der 'Handmaster' [3] sind erste Vertreter von anpassbaren, Mikrocontroller gesteuerten Greifhilfen auf der Basis von Oberflächen elektrostimulation. Leider schlug die Kommerzialisierung des 'Bionic Glove' fehl, so dass zum heutigen Zeitpunkt mit dem Handmaster nur ein System erhältlich ist.

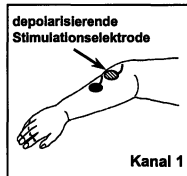
Seit Mitte der neunziger Jahre sind mit dem 'Free-hand System' [4] und dem 'Fesmate' [5] zwei implantierbare Greifhilfen erhältlich. Sie haben den Vorteil einer fixen Installation gegenüber dem täglichen Anbringen der Elektroden bei Oberflächenstimulationssystemen, sind aber punkto Greifqualität kaum besser und kosten in der Anschaffung viel mehr.

Technische Mängel bei erhältlichen Greifhilfen auf der Basis von Oberflächen elektrostimulation und mangelnde Verfügbarkeit bewogen uns 1996 mit der Entwicklung einer eigenen Greifhilfe für tetraplegische Patienten zu beginnen. Die einmalige Nähe von universitärer Forschung und klinischer Rehabilitation an der Universitätsklinik Balgrist ermöglichte eine effiziente Zusammenarbeit von Ingenieuren und Klinikern, mit dem Ziel eine robuste und flexible Greifhilfe auf der Basis von funktioneller Elektrostimulation (FES) zu entwickeln und anzuwenden. Diese Greifhilfe wird nun mit einem industriellen Partner kommerzialisiert und soll in den nächsten zwei Jahren die Marktreife erreichen.

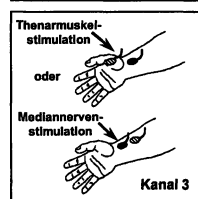
MATERIALIEN UND METHODEN

Mittels elektrischer Impulse (symmetrisch, biphasische Strompulse mit 100 - 250 μ s Pulsbreite und 10 - 40 mA Pulsamplitude) wurden zur Handöffnung die

Fingerstrecker (M. ext. digitorum) und zur Handschliessung die Fingerbeuger (M. fl. digitorum superficialis und profundus) stimuliert.



Die Daumenbeuger wurden je nach Empfindlichkeit des Benutzers auf die Elektrostimulation entweder durch Stimulation des Medianernervs (wird als schmerzhafter Empfundener, kann aber an weniger exponierter Stelle stimuliert werden) oder des Thenarmuskels aktiviert.



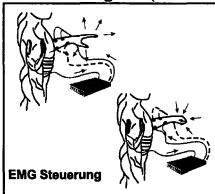
Vier unterschiedliche Strategien zur Steuerung der Greifhilfe ermöglichen eine individuelle Anpassung der Steuerart an unterschiedliche Läsionshöhen und Präferenzen der Benutzer.

Die technisch robusteste und auch einfachste Steuerart war die Druckknopfsteuerung. Sie erlaubt das Starten und das Beenden des Greifvorganges mittels Knopfdruks. Die Steuerung der Greifhilfe mit einem Schieberegler ermöglichte zusätzlich auch noch die Verstellung der Stimulationsstärke während eines Greifvorganges und damit die Anpassung der Greifkraft an unterschiedliche Objekte.



Diese Steuerart war aber komplizierter und verlangte mehr Aufmerksamkeit vom Benutzer.

Die beiden letzten Steuerarten benutzten gleichgerichtete und Tiefpass gefilterte EMG Signale (Muskelströme) von einem oder mehreren vom Benutzer willkürlich aktivierbaren Muskeln. Dabei musste sichergestellt sein, dass die Steuermuskel für die Greif- und Armbewegungen nicht benötigt wurden. Es stellte sich heraus, dass je nach Läsionshöhe unterschiedliche Steuermuskeln und daraus folgend individuelle Steuerstrategien benutzt werden mussten.



Tetraplegiker mit sehr hohem Querschnitt (unterhalb des 4. oder 5. Halswirbels), denen bilaterales Arbeiten wegen mangelnder Oberkörperstabilität nicht möglich war, wurde der Deltoid Muskel des kontralateralen Armes zur proportionalen Steuerung des Handöffnens resp. -schließens benutzt [6].

Tetraplegiker mit tieferem Querschnitt benutzten eine digitale EMG Steuerung, die mit Hilfe von speziellen EMG Signalmustern den Greifvorgang startete und mit einem anderen EMG Signalmuster wieder beendete.

ERGEBNISSE

Mit funktioneller Elektrostimulation (FES) konnte bei allen Patienten ein guter Palmar- oder Lateralgriff erzeugt werden. Bei vier Patienten wurde auf ein Handöffnen mit FES im funktionellen Ablauf des Greifvorganges verzichtet.

Im täglichen Einsatz in der Klinik und später auch zu Hause wurden die Vorteile wie auch die Nachteile der Greifhilfe untersucht. Die tägliche Anbringung der Stimulationselektroden stellt gegenüber den implantierten Systemen nur einen kleinen Nachteil dar, da zum einen die Elektroden bei der Oberflächen FES innerhalb Minutenfrist geklebt sind und zum anderen bei implantierten Systemen auch Schultersensor (Freehand System) und Sendeantenne befestigt werden müssen.

Die Druckknopf- und die Schiebereglersteuerung erwiesen sich als sehr robust gegenüber Umwelteinflüssen und Fehltriggerung. Nachteilig war die explizite Bedienung (Orten und Bedienen) des Knopfes oder Schiebers. Die EMG Steuerung war für den Anwender sehr leicht zu erlernen und wurde nach kurzer Zeit als Automatismus beherrscht. Sie war die intuitivste Variante zur Steuerung des Greifens, aber auch die Empfindlichste auf Umgebungsstörungen und verlangte eine aufwändige Montage der Sensoren am Benutzer.

DISKUSSION

Im täglichen Einsatz in der Klinik und später auch zu Hause stellte sich heraus, dass ein Zugewinn an Greifkraft alleine nicht ausreichte, um eine Greifhilfe für einen inkompletten C6 Querschnittgelähmten mit passi-

vem Faustschluss attraktiv zu machen. Erst ein signifikanter Funktionszugewinn bei alltäglichen Aktivitäten kombiniert mit einem minimalen Aufwand für das Anbringen der Greifhilfe überzeugte die Patienten die Greifhilfe täglich zu gebrauchen. Ein signifikanter Funktionszugewinn war bei Patienten ohne willkürliche Handfunktion (C4 und C5 komplett) leichter zu erreichen als bei Patienten mit passiver Handfunktion (Tenodesisgriff), obwohl sich auch bei letzteren der Greifradius mit einer FES Greifhilfe erheblich erhöhte.

Weiter konnte qualitativ festgestellt werden, dass bei den Patienten, bei denen sich die Greiffunktion auch ohne FES verbesserte, die elektrisch stimulierte Hand schneller und besser entwickelte als die nicht stimulierte Hand. Diese beobachtete Funktionsverbesserung der mit FES trainierten Hand verglichen mit der unstimulierten Hand, muss noch quantifiziert werden.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Eine Greifhilfe auf der Basis von Oberflächen FES hat kaum Nachteile gegenüber einer implantierten Greifhilfe. Jedoch muss der Funktionszugewinn beim täglichen Gebrauch signifikant sein, um beim Benutzer genügend Akzeptanz zu erreichen.

Falls es gelingt die EMG Steuertechnik ähnlich robust zu machen wie Schieberegler oder Druckknöpfe, so stellt sie die bevorzugte Steuerart dar.

LITERATURHINWEISE

- [1] C. Long and V. Masciarelli, "An electrophysiological splint for the hand," *Arch. Phys. Med. Rehab.*, vol. 44, pp. 449-503, 1963.
- [2] A. Prochazka, M. Gauthier, M. Wieler, and Z. Kanwell, "The bionic glove: an electrical stimulator garment that provides controlled grasp and hand opening in quadriplegia," *Arch. Phys. Med. Rehab.*, vol. 78, pp. 1-7, 1997.
- [3] M. J. Ijzerman, S. T.S., F. A. C. G. in 't Groen, M. A. P. Klatte, G. J. Snoeck, J. H. C. Vorsteveld, R. H. Nathan, and H. J. Hermens, "The NESS Handmaster orthosis: restoration of hand function in C5 and stroke patients by means of electrical stimulation," *J. of Rehabilitation Sciences*, vol. 9, pp. 86 - 89, 1996.
- [4] B. Smith, P. H. Peckham, M. W. Keith, and D. D. Roscoe, "An externally powered, multichannel, implantable stimulator for versatile control of paralyzed muscle," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 34, pp. 499-508, 1987.
- [5] K. Takahashi, M. Kikuchi, S. Takeuchi, N. Hoshimiya, H. Mastuki, and Y. Handa, "Externally powered implantable FES system," presented at MHS'95 Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science (Cat No.95TH8079), 1995.
- [6] T. Keller, A. Curt, M. R. Popovic, V. Dietz, and A. Signer, "Grasping in High Lesioned Tetraplegic Subjects Using the EMG Controlled Neuroprosthesis," *Journal of NeuroRehabilitation*, vol. 10, pp. 251-255, 1998.